

TO THE BOARD OF INDUSTRY, TRADE AND HANDICRAFT
ITALIAN PATENT AND TRADEMARK OFFICE - ROME

MODEL A

APPLICATION FOR INDUSTRIAL INVENTION PATENT, RESERVE FILING, ADVANCED ACCESSIBILITY BY THE PUBLIC

A. **APPLICANT (S)** N.G.
1) DENOMINATION ALCATEL
RESIDENCE PARIS - (FR) code

B. **REPRESENTATIVE OF THE APPLICANT BY I.P.T.O.**
surname name BORSANO CORRADO fiscal code
name of the office ALCATEL ITALIA S.p.A. -- Patent Office
street Trento n. 30 town Vimercate post code 20059 prov. MI

C. **DOMICILE OF CHOICE addressee:** at the Representative's Office
street n. town post code prov.

D. **TITLE** proposed class (sec./cl./subcl) group / subgroup
" Method and device for the carrier recovery in OFDM systems".

ACCESSIBILITY IN ADVANCE FOR THE PUBLIC: YES NO (X) IF PETITION: DATE RECORD NO.:

E. **DESIGNATED INVENTORS** surname name surname name
1) VALTOLINA ROBERTO 3) SPALVIERI ARNALDO
2) GALLIBARIGGIO MARCO 4)

F. **PRIORITY** annexe
nation or organization priority type application number filing date S/R

RESERVE DISSOLUTION
Date Protocol no.

G. **CENTER DEPUTED TO THE CULTURE OF MICRO-ORGANISM**, denomination

H. **SPECIAL NOTES**

ATTACHED DOCUMENTATION
NO. of ex.

Doc.	no.	PROV.	no. pag.	[14]	abstract with main drawing, description and claims (compulsory 1 exemplar)
Doc. 2)	2	PROV.	no. draw	[05]	drawing (compulsory if mentioned in the description, 1 exemplar)
Doc. 3)	1	RIS			power of attorney, general power or reference to general power
Doc. 4)		RIS			inventor designation
Doc. 5)		RIS			priority document with italian translation
Doc. 6)		RIS			authorization or deed of assignment
Doc. 7)					complete name of applicant

RESERVE DISSOLUTION
Date Protocol no.

compare single priorities

8) payment receipt, total liras THREE HUNDRED SIXTYFIVE THOUSAND compulsory

TYPED ON 14/07/2000 SIGNATURE OF APPLICANT (S) Eng. CORRADO BORSANO
TO BE CONTINUED YES / NO NO c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
(signature)

CERTIFIED COPY OF THE PRESENT CERTIFICATE IS REQUESTED YES / NO YES

PROVINCIAL OFFICE OF IND. COMM. HAND. OF MILAN code 15

FILING REPORT APPLICATION NUMBER MI2000A 001589 Reg.A

In the year ~~nineteen hundred~~ TWO THOUSAND on day FOURTEEN of the month of JULY

The above mentioned applicant (s) has (have) submitted to me the present application formed by no. 00 additional sheets for the grant of the aforesaid patent

I. **VARIOUS NOTES OF DRAWING UP OFFICER**

FILING PARTY
SIGNATURE

Office
seal

DRAWING UP OFFICER
CORTONESI MAURIZIO
signature

Valtolina et al
7/12/01 #2
1 of 1 8/2/01
DS

**BOARD OF INDUSTRY, TRADE AND HANDICRAFT
GENERAL MANAGEMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTION
ITALIAN PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

11011 U.S. PTO
09/902781
07/12/01

Authentication of copy of documents relating to patent application for Industrial Invention
N. MI2000A001589

We declare that the attached copy is a true copy of the original documents
filed with the above mentioned patent application, the data of which
appear from the attached filing form

Rome, DECEMBER 18, 2000

Seal stamp

DIVISION DIRECTOR

Dr. Paola DI CINTIO
(signature)



MINISTERO DELL'INDUSTRIA, DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO
DIREZIONE GENERALE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI



Valtolina
7/12/01
1061

J1011 U.S. PTO
09/902781



Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per INV. IND.

N. MI2000A001689

*Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati
risultano dall'accluso processo verbale di deposito*

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

18 DIC. 2000

IL DIRETTORE DELLA DIVISIONE

D. Ssa Paola DI CINTIO

BEST AVAILABLE COPY

131.154

AL MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

MODULO A

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE, DEPOSITO RISERVE, ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO



A. RICHIEDENTE (I)

1) Denominazione ALCATEL
 Residenza PARIS (FR) codice
 2) Denominazione
 Residenza codice

B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome nome BORSANO CORRADO cod. fiscale
 denominazione studio di appartenenza ALCATEL ITALIA S.p.A. - Ufficio Brevetti
 via Trento n. 30 città Vimercate cap 20059 (prov) MI

C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario

via n. città cap (prov)

D. TITOLO

classe proposta (sez/cl/scf) gruppo/sottogruppo

"Metodo e dispositivo per il recupero di portante in sistemi OFDM".

ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO:

SI ☐ NO ☒

SE ISTANZA: DATA N° PROTOCOLLO

E. INVENTORI DESIGNATI

cognome nome

1) VALTOLINA ROBERTO 3) SPALVIERI ARNALDO
 2) GALLIBARIGGIO MARCO 4)

F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione

tipo di priorità

numero di domanda

data di deposito

allegato
S/R

1) / / ☐
 2) / / ☐

SCIOGLIMENTO RISERVE

Data N° Protocollo

G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA CULTURE DI MICRORGANISMI, denominazione

H. ANNOTAZIONI SPECIALI

DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es.

Doc. 1) 12 PROV n. pag. 114 riassunto con disegno principale, descrizione e rivendicazioni (obbligatorio 1 esemplare)
 Doc. 2) 12 PROV n. tav. 105 disegno (obbligatorio se citato in descrizione, 1 esemplare)
 Doc. 3) 11 RIS lettera d'incarico, procura o riferimento procura generale
 Doc. 4) RIS designazione inventore
 Doc. 5) RIS documenti di priorità con traduzione in italiano
 Doc. 6) RIS autorizzazione o atto di cessione
 Doc. 7) nominativo completo del richiedente

8) attestati di versamento, totale lire

Trecentosessantacinquemila

COMPILATO IL 14/07/2000

FIRMA DEL(I) RICHIEDENTE(I)

CONTINUA SI/NO NO

DEL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA SI/NO SI

Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446) obbligatorio

c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.

Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

UFFICIO PROVINCIALE IND. COMM. ART. DI MILANO

codice 15

VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA MI2000A 001589

Reg. A.

L'anno duemila DUEMILA, il giorno QUATTORDICI, del mese di LUGLIO

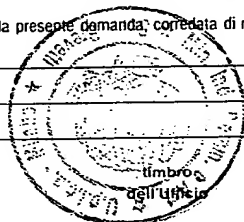
il(i) richiedente(i) sopraindicato(i) ha(hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda corredata di n.

001 fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopraindicato.

I. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE

IL DEPOSITANTE

Ing. P. Borsano



L'UFFICIALE ROGANTE

M. CORTONESI

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE, DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

NUMERO COMANDA

MI 2000 A 00 1589

REG. A

DATA DI DEPOSITO

14.07.2000

NUMERO BREVETTO

DATA DI RILASCIO

D. TITOLO

"Metodo e dispositivo per il recupero di portante in sistemi OFDM".

L. RIASSUNTO

Viene descritto un metodo ed un dispositivo per il recupero di portante in sistemi OFDM. Il metodo comprende le fasi di: in trasmissione, effettuare una trasformata inversa discreta di Fourier prevedendo un certo numero di sottoportanti pilota da trasmettere assieme a sottoportanti associate ai simboli di una fissata costellazione, ogni simbolo essendo associato ad un blocco comprendente un certo numero m di bit; in ricezione, effettuare una trasformata discreta di Fourier del segnale ricevuto. Il metodo è caratterizzato dalle fasi di posizionare le sottoportanti pilota in modo contiguo/affiancato all'interno del segnale da trasmettere; estrarre le sottoportanti pilota affiancate filtrando passa-banda il segnale ricevuto ottenendo un primo segnale filtrato; e utilizzare tali sottoportanti pilota estratte per effettuare una correzione tipo feed-forward dell'errore di fase da attuarsi prima di effettuare la detta trasformata discreta di Fourier.

M. DISEGNO

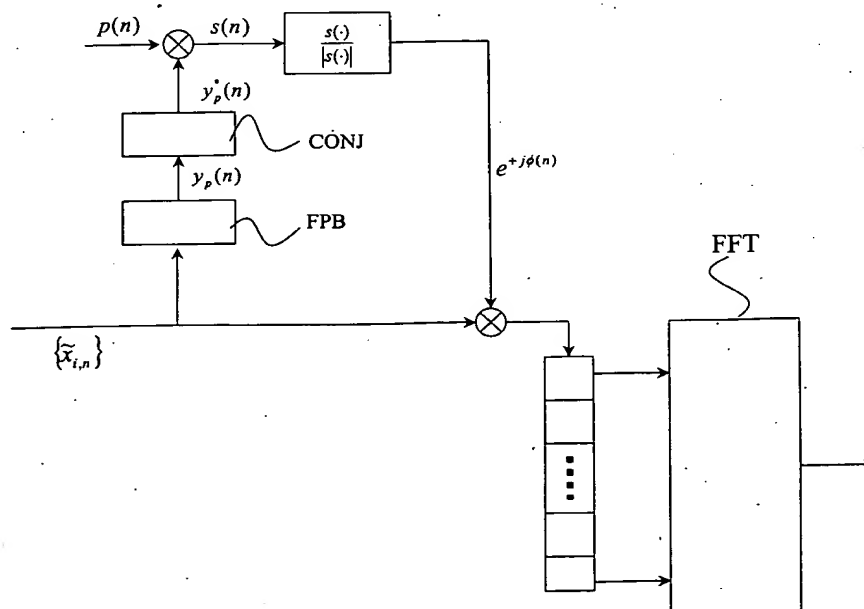
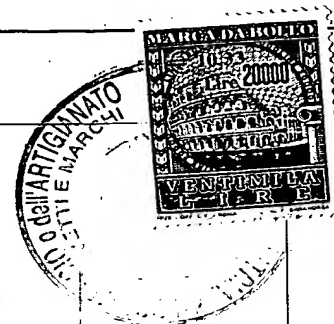
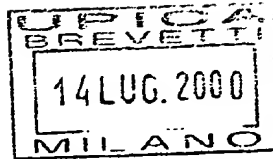


Fig. 3



- ALCATEL -



Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 4461) *CB*
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda in generale l'utilizzo della tecnica OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ed in particolare riguarda l'utilizzo di tale tecnica per collegamenti radio punto-punto a microonde. Ancora più in particolare riguarda un metodo ed il relativo dispositivo per il recupero di portante in tali sistemi OFDM ad alta frequenza di lavoro.

MI 2000A001589

La disponibilità sul mercato di componenti elettronici a larga integrazione ha permesso negli ultimi anni l'utilizzazione della tecnica OFDM in diversi ambiti, tra i quali gli standard DVB (Digital Video Broadcasting) per la diffusione televisiva terrestre VHF-UHF e DAB (Digital Audio Broadcasting) per la trasmissione del segnale audio. Come è noto, la tecnica di modulazione OFDM consiste nella trasmissione di numerose portanti ortogonali affiancate. Il motivo principale per cui questo tipo di modulazione è stato preferito in fase di standardizzazione a sistemi a singola portante è dovuto alla sua intrinseca robustezza alle distorsioni presenti sul canale terrestre a causa del fenomeno dei cammini multipli.

La multiplazione di frequenza con portanti ortogonali è la caratteristica vincente del sistema OFDM ma proprio per questo motivo tale ortogonalità deve essere assolutamente mantenuta per il corretto funzionamento del sistema stesso.

La modulazione OFDM si dimostra essere particolarmente debole nei confronti degli errori di sincronismo di portante, cioè le prestazioni degradano rapidamente anche per piccoli offset di frequenza. E' dunque necessario garantire al sistema di lavorare sempre in condizioni di aggancio, e di correggere rapidamente eventuali improvvisi offset di frequenza (*click*) causati dagli oscillatori locali (OL) in trasmissione od in ricezione. E' infatti noto che questo fenomeno diventa sempre più critico

all'aumentare della frequenza degli OL, a causa di una crescente difficoltà realizzativa.

Dal momento che la modulazione OFDM è stata fino ad ora utilizzata nei sistemi DAB o DVB, essendo le frequenze di lavoro relativamente basse, il fenomeno degli offset di frequenza è stato in prima approssimazione trascurato. Tuttavia, in vista di un utilizzo della tecnica OFDM ad alte frequenze, in particolare per collegamenti radio punto-punto a microonde, cioè con frequenze di lavoro tra i 4 ed i 30 GHz, è necessario far fronte a detto fenomeno degli offset di frequenza.

Scopo principale della presente invenzione è pertanto quello di fornire un metodo ed un dispositivo efficaci per la correzione dell'errore di fase introdotto da tali offset di frequenza, utilizzando dei simboli pilota noti al ricevitore.

Questo scopo, oltre ad altri, viene ottenuto mediante un metodo ed un dispositivo aventi le caratteristiche indicate nelle rivendicazioni indipendenti 1 e 9, rispettivamente. Ulteriori caratteristiche vantaggiose del metodo e del dispositivo vengono indicate nelle rispettive rivendicazioni dipendenti. Tutte le rivendicazioni si intendono una parte integrante della presente descrizione.

L'idea alla base della presente invenzione consiste nel posizionare in maniera contigua delle portanti pilota all'interno del flusso dati di trasmissione che, opportunamente estratte nel flusso di ricezione mediante un filtraggio passa-banda, vengono utilizzate per una correzione di tipo feed-forward dell'errore di fase da attuarsi prima della DFT.

Segue ora una dettagliata descrizione dell'invenzione, fornita a titolo puramente esemplificativo e non limitativo, da leggersi con riferimento alle annesse tavole di disegni, in cui:

- Fig. 1 mostra una rappresentazione schematica di principio di un modulatore OFDM noto, lato trasmissione;

- Fig. 2 mostra uno schema a blocchi realizzativo del modulatore OFDM di Fig. 1;

- Fig. 3 mostra uno schema a blocchi realizzativo di una prima forma di realizzazione del ricevitore secondo la presente invenzione;

- Fig. 4 mostra uno schema a blocchi realizzativo di una seconda forma di realizzazione del ricevitore secondo la presente invenzione; e

- Fig. 5 mostra un grafico che rappresenta il campionamento e l'interpolazione lineare a tratti della fase ϕ .

Prima di descrivere le caratteristiche peculiari della presente invenzione, si ritiene utile accennare più nel dettaglio ad alcuni aspetti della tecnica di modulazione OFDM.

La tecnica OFDM consiste nella generazione di un insieme di spettri, parzialmente sovrapposti e mutuamente ortogonali, del tipo $\sin(x)/x$ nel dominio delle frequenze e corrispondentemente di impulsi di tipo rettangolare nel dominio del tempo. E' un sistema multitono che trae un grande vantaggio dal fatto che il segnale da trasmettere viene generato da una trasformata di Fourier che combina modulazione, moltiplicazione e modellazione di impulsi (o "pulse shaping") in un'unica operazione.

Ciascuna portante è modulata secondo una fissata costellazione scelta nella famiglia xPSK o xQAM (ad esempio QPSK, 16QAM, 64QAM, etc., dipendentemente dalle caratteristiche del canale). La sequenza di bit (BS) in ingresso al modulatore OFDM viene suddivisa ad ogni intervallo di tempo T_s in N blocchi di m bit, a ciascuno dei quali blocchi viene associato un numero complesso $X_{i,k}$ che rappresenta un simbolo della costellazione prescelta. Una volta mappata una stringa di bit in una se-

quenza di simboli, ciascun simbolo viene associato ad una delle sottoportanti in modo che un vettore di N simboli sequenziali venga fatto corrispondere ad un sistema di N portanti diverse. La somma delle portanti costituisce il segnale $x_i(t)$ associato al cosiddetto simbolo OFDM e che qualitativamente si può rappresentare così:

$$x_i(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_{i,k} e^{j2\pi f_k t} \text{rect}_{T_s}(t - iT_s)$$

Il segnale complessivo $x(t)$ è dato dalla somma dei simboli OFDM $x_i(t)$ trasmessi, secondo la seguente relazione:

$$x(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} x_i(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=0}^{N-1} X_{i,k} e^{j2\pi f_k t} \text{rect}_{T_s}(t - iT_s)$$

Al fine di ridurre l'occupazione spettrale, è necessario che le portanti siano ortogonali tra loro e cioè che il loro prodotto scalare sia identicamente nullo, ovvero che soddisfino dunque la seguente condizione analitica:

$$\int_0^{T_s} e^{j2\pi f_k t} e^{j2\pi f_h t} dt = 0 \text{ per } h \neq k$$

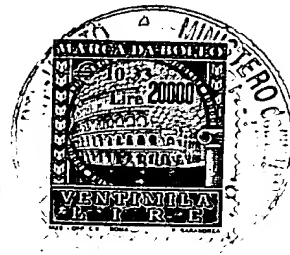
Questo implica che le frequenze delle portanti siano scelte pari a multipli interi dell'inverso della durata T_s :

$$f_k = f_0 + \frac{k - N/2}{T_s} \quad k = 0, \dots, N-1$$

essendo f_0 la frequenza della portante centrale.

Il segnale così ottenuto viene campionato con intervallo di campionamento $T = T_s / N$, essendo N il numero delle portanti. Il segnale $x(nT)$ che si ottiene è pertanto:

$$x(nT) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=0}^{N-1} X_{i,k} e^{j2\pi k n / N} \text{rect}_{T_s}(nT_s / N - iT_s)$$



Si impone ora la necessità di passare a segnali analogici. La conversione digitale-analogica invece di questi campioni genera un segnale continuo che andrà a modulare una portante a radiofrequenza. Si riconoscerà che l'espressione appena vista è equivalente ad una trasformata inversa discreta di Fourier (IDFT) dei coefficienti complessi $X_{i,k}$ a meno di un fattore $1/N$. Questo suggerisce un modo per implementare praticamente la modulazione OFDM: in trasmissione si realizza una IDFT dei simboli $X_{i,k}$ e in ricezione si provvederà a realizzare l'operazione inversa, ovvero una trasformata discreta di Fourier o DFT.

Preso dunque un vettore di N simboli complessi da trasmettere, diremo in sintesi che si trasmetteranno N campioni x_n del simbolo OFDM con:

$$\{x_{i,n}\} = IDFT\{X_{i,k}\}$$

ovvero

$$\{x_{i,n}\} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_{i,k} e^{+j \frac{2\pi}{N} kn}$$

mentre in ricezione:

$$DFT\{x_{i,n}\} = \{X_{i,k}\}$$

In presenza di interferenza intersimbolica causata dal canale di trasmissione, le proprietà di ortogonalità tra i segnali possono venire meno. Viene così ricavato, all'interno del tempo T_s disponibile per trasmettere il simbolo OFDM, un tempo di guardia T_g in modo che gli echi o le riflessioni del segnale che in ricezione cadono all'interno di questo intervallo vengano utilizzate in maniera costruttiva per recuperare il segnale principale. Avremo quindi

$$T_s = T_u + T_g$$

dove T_u è la parte utile del segnale trasmesso (pari a $N \cdot T$), T_g è il tempo di guardia; T_s è la durata totale del simbolo OFDM trasmesso; e T è il tempo associato ad un simbolo QAM.

Inoltre, il segnale OFDM così definito può utilizzare parte delle portanti a disposizione, dette portanti pilota, per trasmettere dei simboli noti al ricevitore, per poter effettuare l'equalizzazione di canale o per recuperare il sincronismo di simbolo o di portante.

Le Figure 1 e 2 rappresentano, rispettivamente, uno schema di principio di generazione del segnale OFDM e gli schemi a blocchi funzionali principali costituenti il modulatore. La sequenza di bit (BS) in memoria da trasmettere viene suddivisa in N blocchi di m bit ciascuno (per esempio, $m=6$ per una costellazione di simboli scelta nella famiglia 64QAM). I blocchi di bit passano in blocchi di mappatura e codifica (C&M) dove, ad ognuno di essi, viene associato un simbolo della costellazione. Poi vengono moltiplicati per le varie portanti f_1, f_2, \dots, f_N (cioè si associa ogni simbolo ad una portante). Il blocco D/A è un convertitore analogico/digitale che converte un segnale ottenuto dalla somma delle varie portanti moltiplicate per le corrispondenti informazioni codificate.

In pratica, si ribadisce che lo schema della Fig. 1 raffigura come teoricamente viene generato il segnale OFDM; in pratica però esso viene generato tramite un chip (si veda il blocco IFFT in Figura 2), facilmente reperibile in commercio, in grado di effettuare il medesimo lavoro in spazi estremamente ridotti, con maggiore velocità e affidabilità. In Fig. 2, FA indica un blocco di adattamento di trame per il trattamento dei dati (FA riceve in ingresso il simbolo complesso QAM); S/P è un blocco che esegue una conversione seriale/parallelo; IFFT un blocco di generazione del segnale che esegue una trasformata veloce di Fourier; e GI è un blocco di inserzione di guardia.

L'effetto di un offset di frequenza (Δf) sul segnale OFDM è di due tipi: da una parte si ha una rotazione di fase per ogni simbolo, dall'altra si ha una perdita di ortogonalità tra le portanti nello stesso simbolo che quindi vanno a interferire le une con le altre. Quest'ultimo aspetto, tipico della modulazione OFDM, è quello che rende il problema della sincronizzazione di portante molto più critico rispetto al caso di un sistema a singola portante.

Si può dimostrare che l'effetto di un offset di frequenza Δf è:

$$\{z_{i,n}\} = \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} e^{+j\pi(N-1)\Delta f T} \frac{\sin(\pi N \Delta f T)}{N \sin(\pi \Delta f T)} X_{i,k} + I(n) \right\}$$

Due dunque sono gli effetti di un offset di frequenza: i) riduzione dell'ampiezza dei simboli di un fattore pari a $\frac{\sin(\pi N \Delta f T)}{\sin(\pi \Delta f T)}$, e ii) introduzione di una sorta di interferenza intersimbolica dovuta alla perdita di ortogonalità delle portanti.

Alla luce di tali considerazioni, la presente invenzione prevede di effettuare la correzione dell'errore di fase in ricezione, prima di effettuare l'operazione di DFT. In caso contrario, l'operatore DFT richiederebbe di attendere la ricezione di tutti gli N campioni trasmessi prima di poter iniziare il compute della trasformata, introducendo dunque un ritardo inaccettabile per la correzione di fase.

In aggiunta a quanto sopra, come già accennato, l'idea alla base della presente invenzione consiste nel posizionare in maniera contigua delle portanti pilota all'interno del flusso dati di trasmissione. Tali portanti pilota "affiancate", opportunamente estratte nel flusso di ricezione mediante un filtraggio passa-banda, vengono quindi utilizzate per una correzione di tipo feed-forward dell'errore di fase, da attuarsi prima di effettuare la DFT.

La sequenza $\{x_{i,n}\}$ da trasmettere, presa all'ingresso del convertitore analogico/digitale, sarà quindi data da:

$$\{x_{i,n}\} = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{k=0}^{k_1-1} X_{i,k} e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} + \sum_{k=k_1}^{k_2} A_k e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} + \sum_{k=k_2+1}^{N-1} X_{i,k} e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} \right\}$$

con $k_1, k_2 \in [0, N-1]$ e dove A_k sono i simboli xQAM associati alle portanti pilota, ovvero simboli noti al ricevitore, e $X_{i,k}$ sono i simboli xQAM associati alle portanti contenenti l'informazione da trasmettere.

Con riferimento a Fig. 3, il segnale ricevuto $\{\tilde{x}_{i,n}\}$ che, considerando il canale ideale, si può ritenere uguale a $\{x_{i,n}\}$, viene opportunamente filtrato passa-banda (FBP) allo scopo di isolare le portanti pilota, ottenendo un segnale $y_p(n)$. Ad esempio si può utilizzare di operare un filtraggio passa-banda ideale adattato alle portanti pilota (avente banda passante centrata sul blocco pilota).

Sul segnale $y_p(n)$ viene effettuata un'operazione di complesso coniugato (blocco CONJ), ottenendo un segnale $y_p^*(n)$.

Il segnale $y_p^*(n)$ viene moltiplicato per una replica locale dei simboli pilota,

ovvero per $p(n) = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{k=k_1}^{k_2} A_k e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} \right\}$, generando un segnale $s(n)$

Viene poi estratta l'informazione sulla fase del segnale $s(n)$ tramite un blocco che, ricevuto in ingresso un vettore, ne calcola il relativo versore, dividendo ogni campione per il suo modulo e generando in uscita un segnale del tipo $e^{+j\phi(n)}$.

La correzione viene effettuata mediante la moltiplicazione del segnale ricevuto $\{\tilde{x}_n\}$ con il segnale $e^{+j\phi(n)}$ generato come indicato sopra.

Si consideri ora a titolo esemplificativo ma non limitativo la presenza di un click di frequenza Δf presentatosi all'istante n_r (con $0 \leq n_r \leq N-1$). Il segnale ricevuto $\{\tilde{x}_{i,n}\}$ sarà:

$$\tilde{x}_{i,n} = \begin{cases} x_{i,n} & n < n_r \\ e^{+j2\pi\Delta f(n-n_r)} \cdot x_{i,n} & n \geq n_r \end{cases}$$

L'uscita del filtro passa-banda FPB (sempre nel caso ideale) e a meno di un inessenziale fattore moltiplicativo $1/N^2$ sarà:

$$y_p(n) = \begin{cases} \sum_{k=k_1}^{k_2} A_k e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} & n < n_r \\ e^{+j2\pi\Delta f(n-n_r)T} \cdot \sum_{k=k_1}^{k_2} G_k A_k e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} & n \geq n_r \end{cases}$$

dove G_k è un termine che dipende da come è realizzato il filtraggio e dall'offset di frequenza presente. Ovviamente, per filtraggio adattato e per Δf nullo, si avrà $G_k = 1$ per ogni k , mentre all'estremo opposto per Δf maggiore di $(k_2 - k_1)/T$ si avrà $G_k = 0$.

La moltiplicazione tra il segnale pilota generato localmente $p(n)$ ed il segnale $y_p^*(n)$ dà come risultato il seguente segnale:

$$s(n) = \begin{cases} \left\{ \sum_{k=k_1}^{k_2} A_k e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} \right\} \cdot \left\{ \sum_{k=k_1}^{k_2} A_k^* e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \right\} & n < n_r \\ e^{-j2\pi\Delta f(n-n_r)T} \cdot \left\{ \sum_{k=k_1}^{k_2} A_k e^{+j\frac{2\pi}{N}kn} \right\} \cdot \left\{ \sum_{k=k_1}^{k_2} G_k A_k^* e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \right\} & n \geq n_r \end{cases}$$

Nella prima riga il prodotto sarà reale, mentre nel secondo termine compare una fase proporzionale all'ampiezza del click.

Considerando il versore associato, si ricava che

$$e^{+j\phi(n)} = \begin{cases} 1 & n < n_r \\ e^{-j2\pi\Delta f(n-n_r)T} + I(n) & n \geq n_r \end{cases}$$

essendo $I(n)$ un generico termine di disturbo che tiene in conto il fatto che in presenza di click e/o di filtraggi non ideali non è garantito che $G_k = 1$ per ogni k . Il termine

$I(n)$ è una generica distorsione che si può comunque considerare trascurabile purché la quantità $k_2 - k_1$, ovvero il numero di portanti pilota, non sia estremamente ridotto.

Il segnale $e^{+j\phi(n)}$ deve essere poi moltiplicato per il segnale ricevuto $\{\tilde{x}_{i,n}\}$, correggendo l'errore di fase introdotto dal click di frequenza. Sul segnale così ottenuto viene poi effettuata una FFT ed il risultato viene inviato al decisore (non illustrato).

In Fig. 4 viene mostrata una seconda forma di realizzazione del dispositivo per il recupero di portante secondo la presente invenzione. La differenza consiste nel sottocampionare la fase $\phi(n)$ e nell'eseguire una interpolazione lineare a tratti tra le varie stime di fase. In riferimento alla Fig. 4, sia $\phi_1(nT)$ l'informazione di fase estratta (PHEXT) a partire da $\phi(nT)$ dopo una opportuna operazione di unwrapping e sia $\phi_1(nT')$ una sua replica sottocampionata (PHEST) con $T' = pT$ essendo p un intero naturale diverso da 0. A questo punto è possibile tra due stime di fase successive, ad esempio $\phi_1(nT')$ e $\phi_1((n+1)T')$, effettuare un'interpolazione lineare a tratti secondo lo schema di principio illustrato in Fig. 5 per ricavare $\phi_1(nT)$.

Secondo l'invenzione, tutte le portanti pilota sono posizionate in posizioni contigue. Tuttavia esse possono essere utilizzate per una stima di canale, purché lentamente variabile, come risulta essere quello per i collegamenti radio punto-punto, spostando, ad ogni simbolo OFDM, la porzione di spettro riservata alle portanti pilota.

Si comprenderà a questo punto come il dispositivo trasmettitore per mettere in pratica la presente invenzione sia praticamente invariato rispetto ai dispositivi noti, se si escludono i mezzi di mappatura (C&M).

E' evidente che alla presente invenzione potranno essere apportate numerose modificazioni e adattamenti senza peraltro fuoriuscire dall'ambito di protezione definito dalle seguenti rivendicazioni che si intendono una parte integrante della presente descrizione.

10

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per il recupero di portante in sistemi OFDM, il metodo comprendendo le fasi di:

- in trasmissione, effettuare una trasformata inversa discreta di Fourier (IDFT) prevedendo un certo numero di sottoportanti pilota da trasmettere assieme a sottoportanti (f_1, f_2, \dots, f_N) associate ai simboli di una fissata costellazione (xPSK, xQAM), ogni simbolo essendo associato ad un blocco comprendente un certo numero (m) di bit;

- in ricezione, effettuare una trasformata discreta di Fourier (DFT) del segnale ricevuto, caratterizzato dalle fasi di:

- posizionare le sottoportanti pilota in modo contiguo/affiancato all'interno del segnale da trasmettere ($\{x_{i,n}\}$);

- estrarre le sottoportanti pilota affiancate filtrando passa-banda (FPB) il segnale ricevuto ($\{\tilde{x}_{i,n}\}$) ottenendo un primo segnale filtrato ($y_p(n)$); e

- utilizzare tali sottoportanti pilota estratte per effettuare una correzione tipo feed-forward dell'errore di fase da attuarsi prima di effettuare la detta trasformata discreta di Fourier (DFT).

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal comprendere l'ulteriore fase di sottoporre il primo segnale filtrato ($y_p(n)$) ad un'operazione di complesso coniugato (CONJ) ottenendo un secondo segnale ($y_p^*(n)$).

3. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal comprendere l'ulteriore fase di moltiplicare il secondo segnale ($y_p^*(n)$) per una replica locale dei simboli pilota ($p(n)$) ottenendo un terzo segnale ($s(n)$).



4. Metodo secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal comprendere l'ulteriore fase di estrarre informazioni sulla fase ($\phi(n)$) del terzo segnale tramite mezzi di calcolo di versore di vettore, ottenendo un quarto segnale ($e^{+j\phi(n)}$).

5. Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal comprendere l'ulteriore fase di sottocampionare la fase ($\phi(n)$) estratta ed eseguire un'interpolazione lineare a tratti delle informazioni di fase ottenendo un quarto segnale ($e^{+j\phi(n)}$).

6. Metodo secondo la rivendicazione 4 o 5, caratterizzato dal comprendere l'ulteriore fase di moltiplicare il quarto segnale ($e^{+j\phi(n)}, e^{+j\phi(n)}$) per il segnale ricevuto ($\{\tilde{x}_{i,n}\}$).

7. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-6, caratterizzato dal comprendere l'ulteriore fase di spostare, ad ogni simbolo OFDM, la porzione di spettro riservata a dette sottoportanti pilota.

8. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto segnale da trasmettere è un segnale radio in collegamenti radio punto-punto ad alta frequenza.

9. Dispositivo per il recupero di portante in sistemi OFDM comprendente:

- mezzi per ricevere un segnale ($\{\tilde{x}_{i,n}\}$) comprendente sottoportanti pilota e sottoportanti (f_1, f_2, \dots, f_N) associate ai simboli di una fissata costellazione (xPSK, xQAM), ogni simbolo essendo associato ad un blocco comprendente un certo numero (m) di bit; e

- mezzi per effettuare una trasformata discreta di Fourier (DFT),

caratterizzato dal fatto che le sottoportanti pilota sono posizionate in modo contiguo/affiancato all'interno del segnale da trasmettere ($\{x_{i,n}\}$) e dal fatto che detto dispositivo comprende inoltre:

- mezzi per estrarre le sottoportanti pilota affiancate filtrando passa-banda (FPB) il segnale ricevuto ($\{\tilde{x}_{i,n}\}$), ottenendo un primo segnale filtrato ($y_p(n)$); e

- mezzi per, utilizzando tali sottoportanti pilota estratte, effettuare una correzione tipo feed-forward dell'errore di fase da attuarsi prima di effettuare la detta trasformata discreta di Fourier (DFT).

10. Dispositivo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal comprendere mezzi per sottoporre il primo segnale filtrato ($y_p(n)$) ad un'operazione di complesso coniugato (CONJ) ottenendo un secondo segnale ($y_p^*(n)$).

11. Dispositivo secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal comprendere mezzi per moltiplicare il secondo segnale ($y_p^*(n)$) per una replica locale dei simboli pilota ($p(n)$) ottenendo un terzo segnale ($s(n)$).

12. Dispositivo secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal comprendere mezzi per estrarre informazioni sulla fase ($\phi(n)$) del terzo segnale tramite mezzi di calcolo di versore di vettore, ottenendo un quarto segnale ($e^{+j\phi(n)}$).

13. Dispositivo secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal comprendere mezzi per sottocampionare la fase ($\phi(n)$) estratta ed eseguire un'interpolazione lineare a tratti delle informazioni di fase ottenendo un quarto segnale ($e^{+j\phi(n)}$).

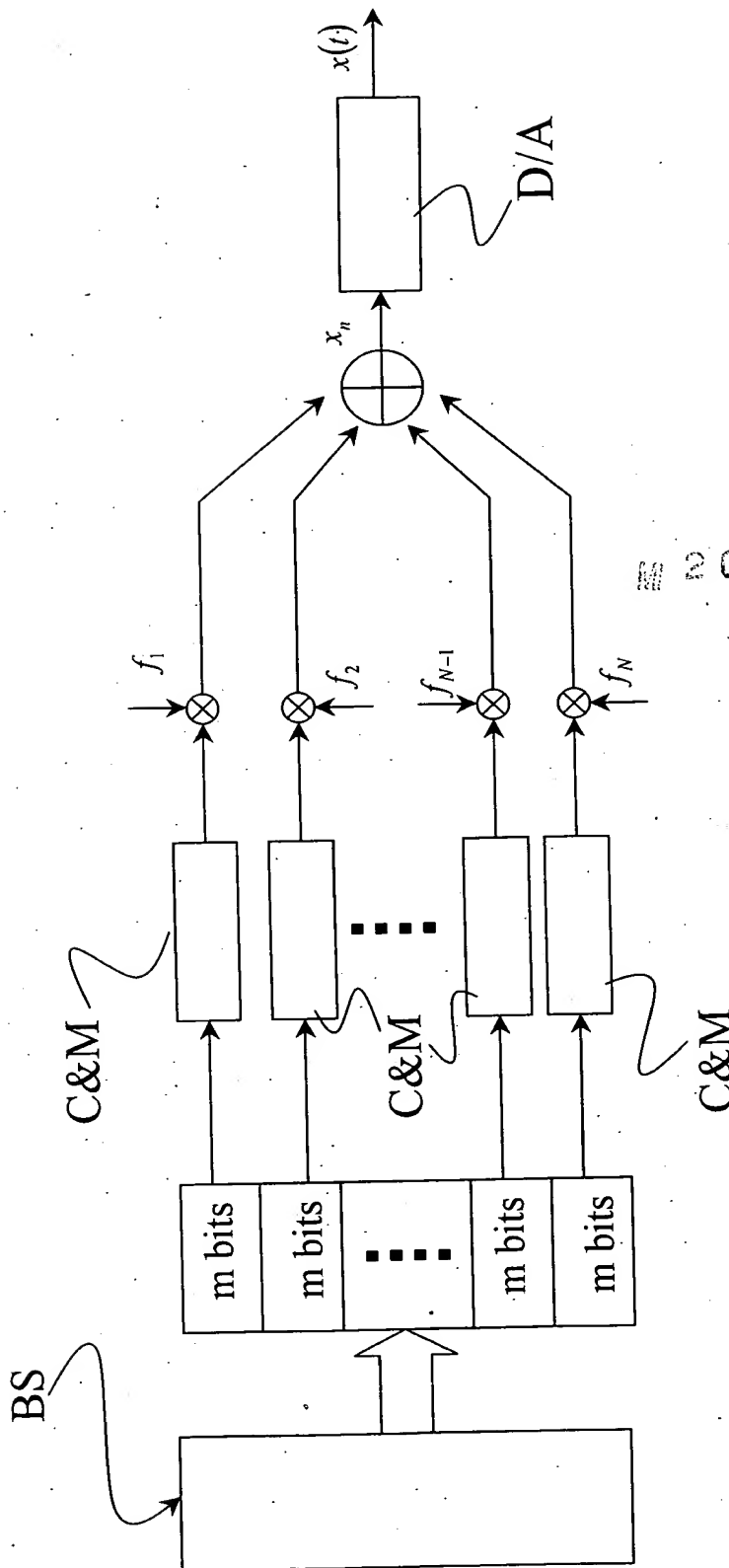
14. Dispositivo secondo la rivendicazione 12 o 13, caratterizzato dal comprendere mezzi per moltiplicare il quarto segnale ($e^{+j\phi(n)}, e^{+j\phi(n)}$) per il segnale ricevuto ($\{\tilde{x}_{i,n}\}$).

15. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-14, caratterizzato dal fatto che detto segnale da trasmettere è un segnale radio in collegamenti radio punto-punto ad alta frequenza.

p.p. ALCATEL

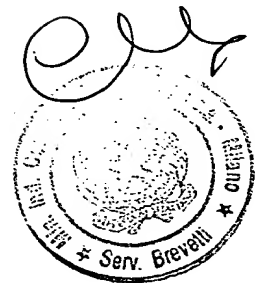
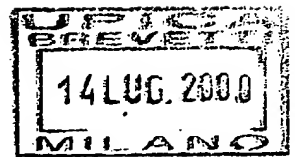
Il mandatario:


Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)



2000A001589

Fig. 1



Corrado Borsano
ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

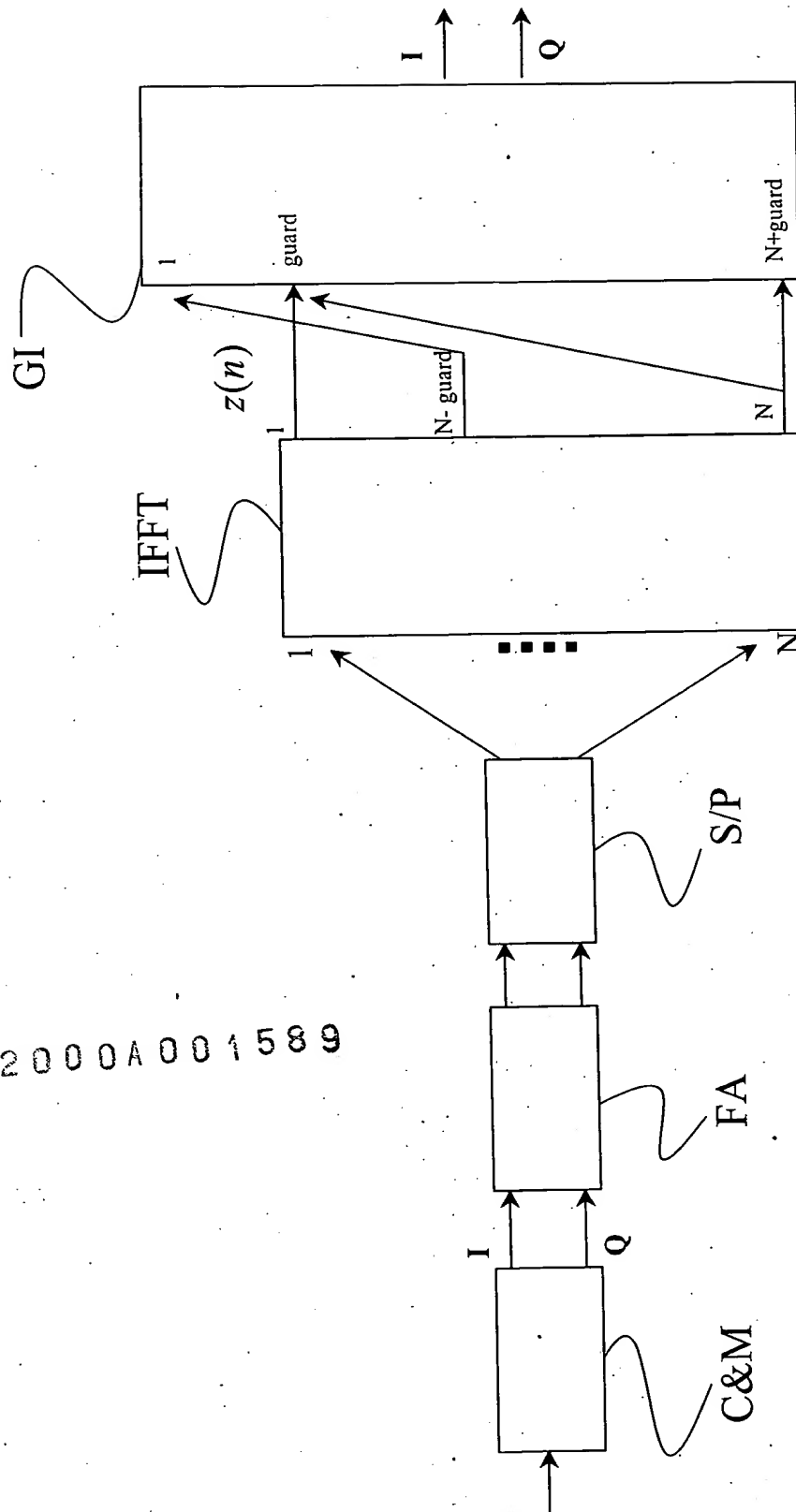
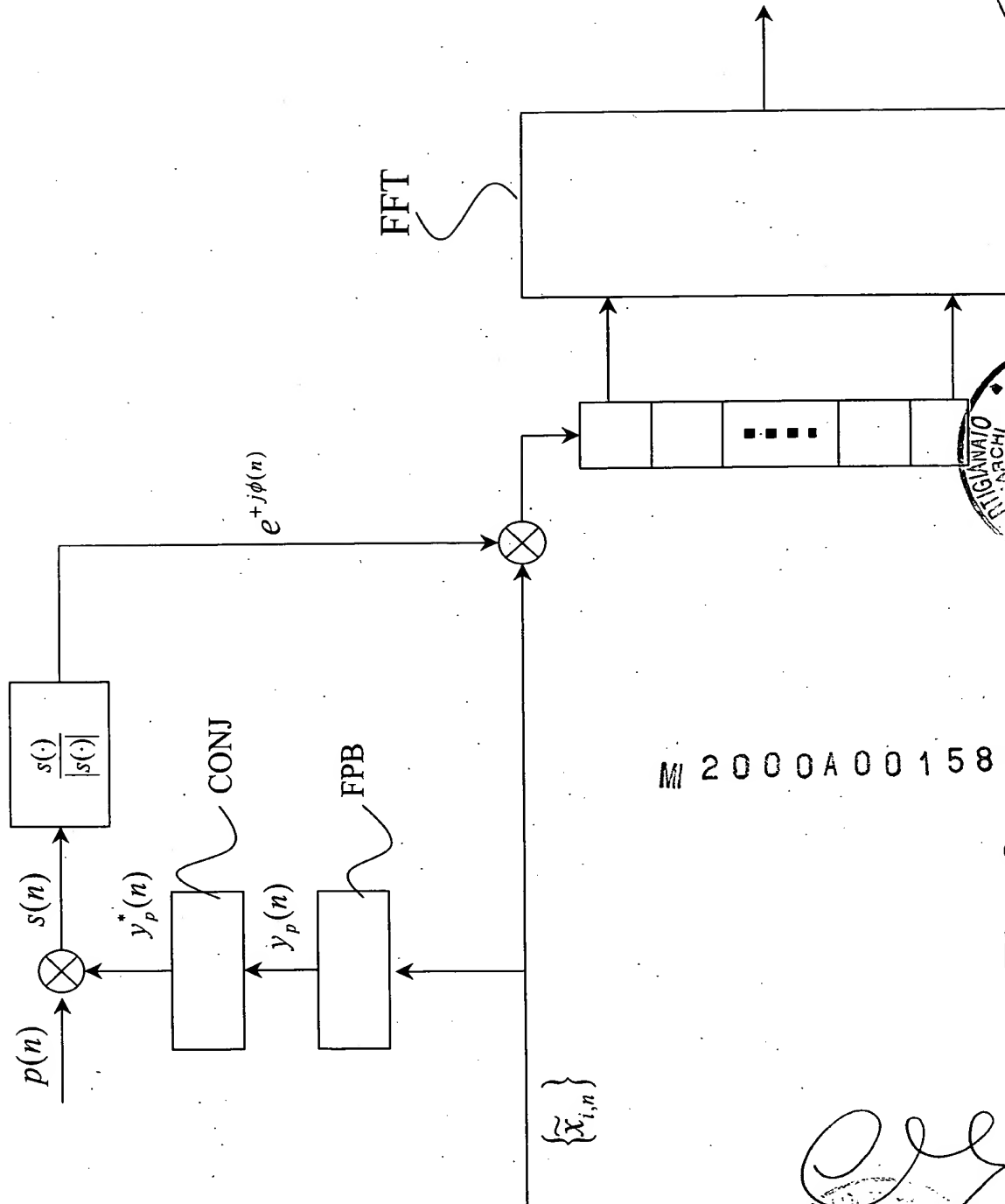


Fig. 2



ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)
c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

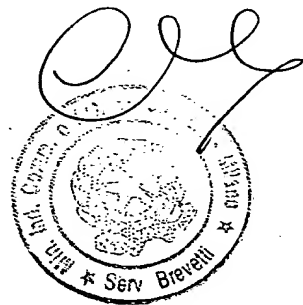
M 2000A001589

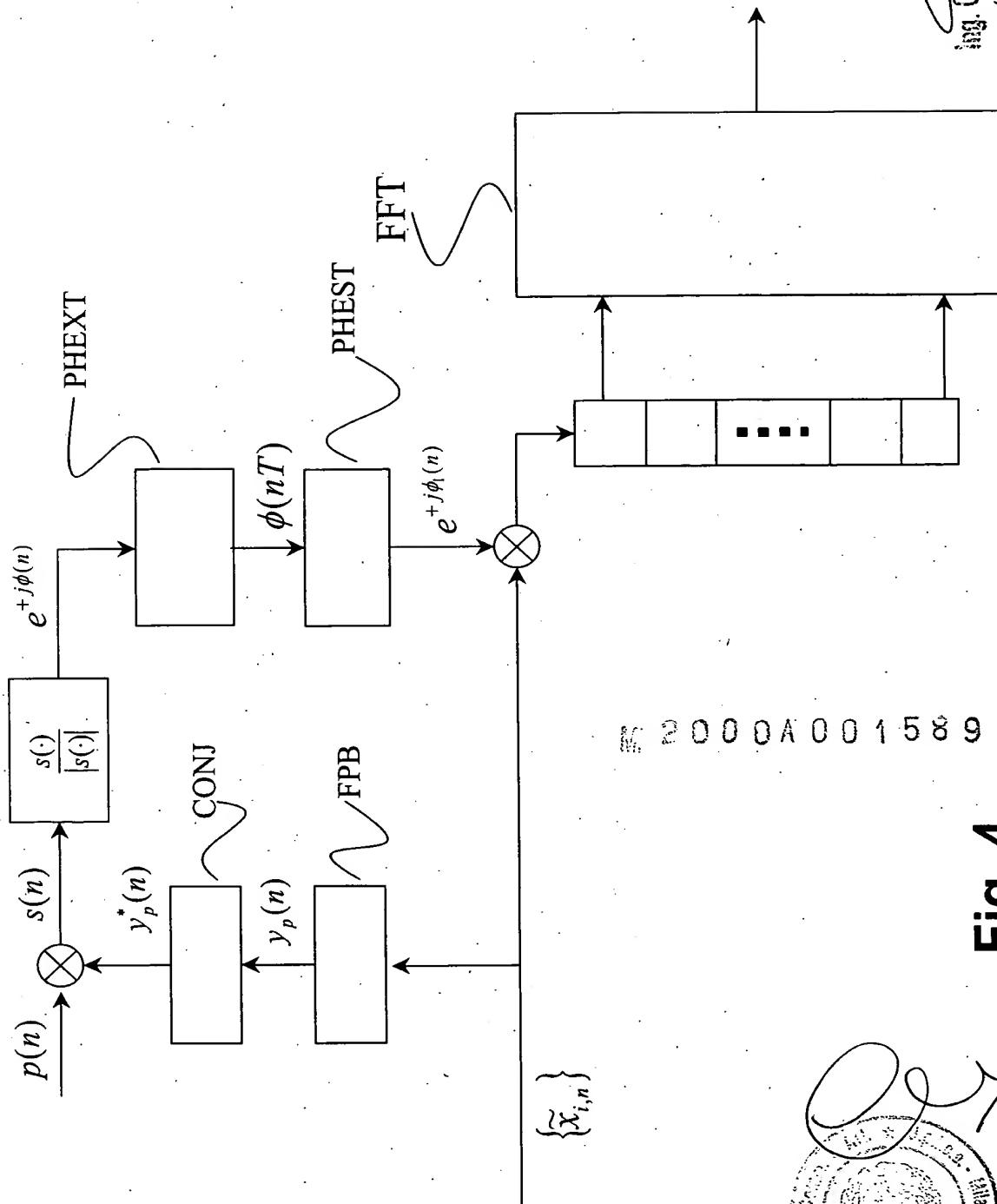


MI 2000A001589

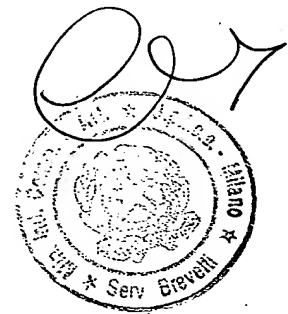
Fig. 3

Conrad Borsano
 Ing. CONRADO BORSANO (iscr. 446)
 c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
 Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)

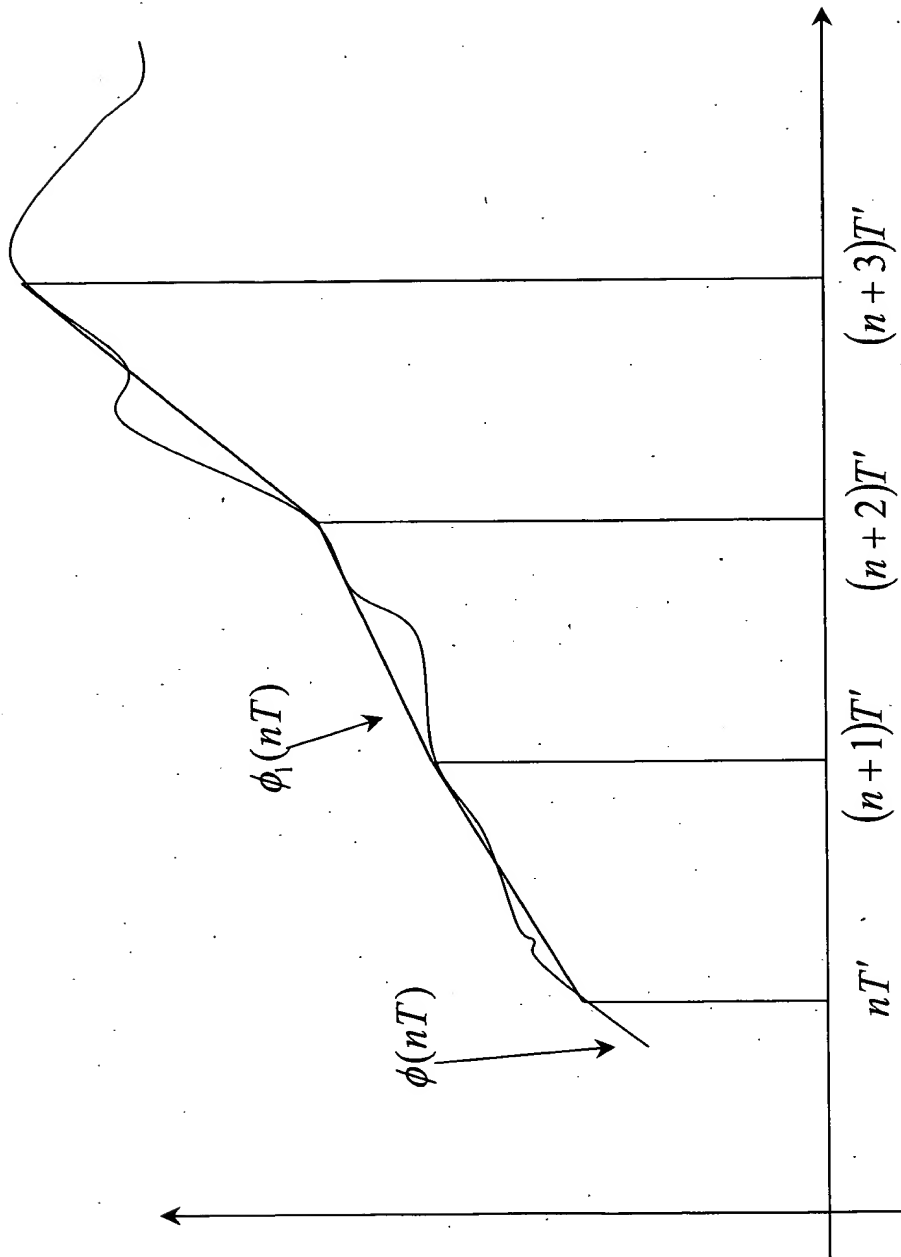




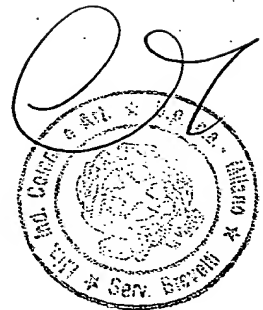
M 2000A001589

Fig. 4

Corrado Gorsano
 Ing. CORRADO GORSANO (iscr. 446)
 C/O ALCATEL ITALIA S.p.A.
 Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)



MI 2000A001589

**Fig. 5**

Corrado Borsano
 Ing. CORRADO BORSANO (iscr. 446)
 c/o ALCATEL ITALIA S.p.A.
 Via Trento, 30 - 20059 VIMERCATE (MI)